

University of Groningen

Driving slow motorised vehicles with visual impairment

Cordes, Christina

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2018

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Cordes, C. (2018). *Driving slow motorised vehicles with visual impairment: An exploration of driving safety.* University of Groningen.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

SUMMARIES



English Summary
Nederlandse Samenvatting
Deutsche Zusammenfassung

English summary

Independent mobility is important for people's general well-being and social participation. Slow motorised vehicles - defined as motor vehicles with a maximum speed of 45km/h (for example, mobility scooters, mopeds or microcars), enable many people to maintain this independence. Visual impairments however can adversely affect independent mobility. The aim of this thesis is therefore to investigate the extent to which people with visual impairments can drive slow motorised vehicles safely. The focus of this thesis is on mobility scooters and microcars.

The background of the thesis is described in **Chapter 1**. The dissertation is the result of the project Mobility4All that was developed by the University of Groningen and Royal Dutch Visio, centre of expertise for visually impaired and blind people (funding: ZonMW, project number 94309004). In contrast to car traffic, there are no legal visual standards for driving slow motorised vehicles. The absence of these standards is advantageous from the perspective of striving for maximum independent mobility, but can at the same time be disadvantageous in terms of traffic safety. Therefore, a good balance must be sought between individual independence on the one hand and traffic safety on the other. There is very little scientific research available about the visual and cognitive factors that could affect driving safety in slow motorised vehicles. The limited research that exists focuses only on mobility scooters or electric wheelchairs and does not provide consistent results.

Chapter 2 gives an overview of the study design. In total, 105 visually impaired and normal sighted people participated in the various experiments of the project Mobility4All. The subjects were subdivided into different groups based on an examination of the basic visual functions: (1) participants with no visual field defects and very low visual acuity (< 0.16), (2) participants with no visual field defects and low visual acuity (0.16-0.4), (3) participants with normal visual acuity and peripheral visual defects, (4) participants with a combination of low visual acuity and visual field defects, and (5) a normal sighted control group. Traffic safety was explored in different settings. A standard mobility scooter was purchased to examine driving skills and fitness-to-drive in a mobility scooter driving skill test and a mobility scooter practical driving test in real traffic. To ensure the safety of the participants, a stop mechanism was installed on the mobility scooter to enable the test leader

to stop the vehicle remotely. Furthermore, mobility scooter and microcar driving simulators were developed to be able to investigate traffic safety systematically. Virtual environments were designed specifically for the purpose of this project and included scenarios with and without obstacles, with different road sections (street and pavement), and with different speeds. The obstacles in the obstacle courses were developed in such a way that they were problematic for visually impaired people (such as obstacles with low contrast, different sizes, position either in the right or in the left peripheral field). Finally, a neuropsychological test battery was administered which was composed with the help of experts in the field of traffic psychology and ophthalmology.

In **Chapter 3**, the driving skills of participants with visual impairments using mobility scooters is investigated. The aim of this experiment was to determine whether visually impaired people were able to learn the driving skills necessary to drive mobility scooters, and whether any of the skills posed difficulties. For this purpose, a mobility scooter driving skill test was developed based on the mobility scooter training course “Blijf Veilig Mobiel” [Stay Mobile Safely] developed by Veilig Verkeer Nederland [Traffic Safety Netherlands]. Skills that were practiced and assessed were, for example, stopping, reversing or driving through a narrow door opening. The performance of 48 visually impaired and 37 normal sighted participants without driving experience in mobility scooters was assessed on a 3-point scale. In addition, it was observed how often the participants had to repeat certain parts of the driving skills test in order to master the relevant skill well enough. Results show that all subjects were able to gain sufficient driving skills to safely drive the mobility scooter. Participants with peripheral visual field defects (both without or combined with low visual acuity) showed most problems when learning different skills. Reversing proved especially difficult for these participants. Another skill that turned out to be problematic was stopping on time. However, this difficulty could not be primarily attributed to visual impairment, but rather to the correct handling of the throttle. Driving experience in vehicles other than mobility scooters and general anxiety did not affect the test results. However, the level of anxiety after completion of the driving test was greater in participants who showed worse performance.

In **Chapter 4**, fitness-to-drive of visually impaired participants was investigated. In this experiment, 46 visually impaired and 35 normal sighted participants completed a practical fitness-to-drive test in the mobility scooter. The driving test was recorded

with a camera. Two independent occupational therapists specialised in orientation and mobility evaluated the performance of the participants using these videos. The main outcome measures were the general driving performance and the number of critical moments, which are defined as situations in which the stop button had to be used or where participants encountered problematic situations. Based on the assessments of the occupational therapists, approximately 90% of the visually impaired participants passed the mobility scooter practical driving test. In general, the performance of visually impaired participants was evaluated as worse than that of the normal sighted control group, but nevertheless visually impaired participants performed well enough to be able to participate safely in traffic. None of the participants belonging to the group "low visual acuity" failed the mobility scooter practical driving test. Participants with very low visual acuity and a combination of visual impairments encountered critical moments more often.

Because on-road tests can be difficult to standardise, a number of driving simulator tasks were developed in order to examine driving performance in a more controlled manner. In **Chapter 5** the results of this experiment are presented. Participants were asked to complete various drives in mobility scooter and microcar driving simulators. To measure driving performance, different parameters (speed, standard deviation of lateral position, time-to-collision, distances, and number and type of collisions) were compared between visually impaired and normal sighted participants. Results showed that visually impaired participants did not differ from normal sighted participants with regard to speed and lateral position in both the mobility scooter and the microcar simulator. The number of collisions, however, was higher for visually impaired participants in almost all drives. Especially in the first obstacle course of the microcar driving simulator, visually impaired participants showed more collisions compared to normal sighted participants. However, this difference became considerably smaller in the second microcar drive. Reasons for this improvement could be a good learning ability or a better familiarity with the task. Outcomes related to time-to-collision differed per drive. Small obstacles with low contrast appeared to pose the greatest risk of collision for visually impaired drivers.

In **Chapter 6**, the relationship between the mobility scooter practical driving test and the driving simulator tasks was examined. The number of collisions (combination of all driving simulator drives) was compared with the number of critical moments on the mobility scooter practical driving test. Furthermore, driving

simulator performances of participants who did not pass the mobility scooter practical driving test were analysed. Performance in the driving simulator was moderately correlated to performance on the mobility scooter practical driving test, yet, participants who failed the driving test did not necessarily perform worse in the driving simulator. However, due to a high dropout rate of participants during the driving simulator tasks as a result of simulator sickness, these outcomes must be interpreted with caution. Until a solution to reduce the incidence of simulator sickness is not found, the use of the driving simulator is not recommended in clinical practice.

The results described in the previous chapters indicate that visual impairment alone cannot predict driving performance in slow motorised vehicles. In **Chapter 7** the added value of (neuropsychological) test assessment for evaluating practical fitness-to-drive was investigated. The following tests were used: Mini Mental Status Examination, Trail Making Test, Rey Complex Figure Test, Reaction Times (Vienna Test System), Determination Test (Vienna Test System), Dot Counting Task, and Vlakveld Hazard Perception Task. Results showed that only the Trail Making Test and the Dot Counting Task showed a moderate correlation with the driving performance of visually impaired participants in the mobility scooter. Part A of the Trail Making Test in particular turned out to be a reasonable predictor of whether participants passed or failed the driving test. However, low performance on these tests does not necessarily mean that someone is unsafe in traffic. Decisions on practical fitness-to-drive should therefore not be taken solely on the basis of these tests. Another finding was that, despite the fact that the participants' visual impairments were considered when choosing the (neuropsychological) tests, visually impaired people performed worse than normal sighted people on most tests. It is unlikely that this poorer performance is the result of poorer cognitive skills, but rather a result of their visual impairment.

In the final chapter, **Chapter 8**, a general discussion and conclusion is given with regard to all preceding chapters. It can be concluded that visual impairment alone cannot determine whether someone can safely and responsibly participate in slow motorised traffic. The introduction of legal visual standards for the use of these vehicles is therefore not recommended. Within rehabilitation, however, a distinction can be made between the different types of visual impairment. In contrast to people with low visual acuity, people with very low visual acuity, visual field defects (with or without additional low visual acuity) and low contrast sensitivity need

more attention. An individual approach to determine practical fitness-to-drive is advised in those cases. In addition, the chapter provides recommendations for visual rehabilitation. Skills that require extra attention are stopping on time (applies to all participants) and reversing (especially for people with visual impairments). Although the results have to be interpreted carefully, the Trail Making Test and the Dot Counting Task could give an indication of the driving performance of visually impaired people. Low performance on these tests could be an indication of difficulties in traffic and would require further attention within rehabilitation. Furthermore, extra attention is needed for obstacles with low contrast. This finding is not only important in rehabilitation, but can also be valuable for infrastructure design. Finally, the importance of compensation is discussed. According to Michon's model, compensation can take place on the strategic and tactical level (such as planning a route in advance or adjusting the speed) to avoid difficult situations in traffic. These strategies could easily be incorporated into rehabilitation to support people in spite of their visual impairment to maintain their independent mobility.

Nederlandse samenvatting

Onafhankelijke mobiliteit is erg belangrijk voor het algemene welbevinden en de maatschappelijke participatie. Langzaam gemotoriseerde voertuigen stellen mensen met beperkingen in staat om deze onafhankelijkheid te behouden. Het betreft motorvoertuigen met een maximale snelheid van 45km/h (bijv. scootmobielen, bromfietsen of brommobielen). Visuele beperkingen zouden echter het veilig en verantwoord gebruik van langzaam gemotoriseerde voertuigen nadelig kunnen beïnvloeden. Doel van dit proefschrift is om te onderzoeken in hoeverre mensen met visuele beperkingen langzaam gemotoriseerde voertuigen veilig en verantwoord kunnen besturen. Hierbij is met name gekeken naar scootmobielen en brommobielen.

In **Hoofdstuk 1** wordt de achtergrond van dit proefschrift uitgelegd. Het proefschrift is het resultaat van het project Mobility4All dat uitgevoerd werd door de Rijksuniversiteit Groningen en Koninklijke Visio, expertisecentrum voor slechtziende en blinde mensen (subsidiegever: ZonMW, project nummer: 94309004). In tegenstelling tot het autoverkeer bestaan er geen visuele medische eisen voor het besturen van langzaam gemotoriseerde voertuigen. Vanuit het perspectief van het streven naar optimale onafhankelijke mobiliteit voor mensen met een visuele beperking is dat voordelig, maar tegelijkertijd kan het op gespannen voet staan met de veiligheid van zowel de cliënt zelf als die van medeweggebruikers. Derhalve moet gezocht worden naar een goede balans tussen individuele onafhankelijkheid aan de ene kant en veiligheid aan de andere kant. Er bestaat nauwelijks wetenschappelijk onderzoek naar de visuele en cognitieve factoren die het rijden in langzaam gemotoriseerde voertuigen beïnvloeden. Het weinige onderzoek dat er is richt zich alleen op scootmobielen of elektrische rolstoelen en geeft geen consistente resultaten. Om de zelfstandige mobiliteit van mensen met een visuele beperking te optimaliseren en evidence-based revalidatieprogramma's te kunnen bieden op dat gebied is nader onderzoek naar het veilig en verantwoord gebruik van langzaam gemotoriseerde voertuigen noodzakelijk.

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht over de gebruikte methoden. In totaal hebben 105 proefpersonen deelgenomen aan de verschillende experimenten van het project Mobility4All. De proefpersonen werden naar aanleiding van een visueel functieonderzoek onderverdeeld in vijf verschillende subgroepen: (1) personen met een intact gezichtsveld maar een heel lage gezichtsscherpte (<0,16; <6/38;

<20/125), (2) personen met een intact gezichtsveld en een lage gezichtsscherpte (0,16-0,4; 6/38-6/15; 20/125-20/50), (3) personen met een goede gezichtsscherpte maar perifere gezichtsvelduitval, (4) personen met een combinatie van lage gezichtsscherpte en gezichtsvelduitval, en (5) een goedziende controlegroep. Verkeersveiligheid werd bekeken vanuit verschillende gezichtspunten. Een zeer gangbare scootmobiel met 3 wielen werd aangeschaft om enerzijds in een trainingsparcours de rijvaardigheid van slechtziende mensen te onderzoeken en anderzijds de rijgeschiktheid in het echte verkeer te beoordelen. De rijvaardigheidstest bestond uit verschillende onderdelen om het besturen van scootmobielen te oefenen en vervolgens te beoordelen. De rijgeschiktheidstest werd zowel binnen als buiten uitgevoerd in het alledaagse verkeer, waarbij de deelnemers allerlei realistische verkeerssituaties tegenkwamen. Om de veiligheid van de proefpersonen te waarborgen werd er een stopknop ingebouwd in de scootmobiel, zodat het voertuig ook op afstand gestopt kon worden. Daarnaast werd een scootmobiel- en een brommobielrijnsimulator ontwikkeld om verkeersveiligheid op een systematische manier te kunnen onderzoeken. De realistische virtuele omgevingen die speciaal voor dit project werden ontworpen, bevatten verschillende scenario's, met en zonder obstakels, met diverse wegonderdelen waarop met verschillende snelheden moest worden gereden. De verschillende obstakels in de obstakelritten zijn zo ontwikkeld dat ze juist voor visueel beperkte mensen problematisch zouden kunnen zijn (zoals obstakels met laag contrast, met verschillende grootte, gepositioneerd in een specifiek deel van het gezichtsveld). Omdat cognitieve factoren ook een rol spelen bij veilige verkeersdeelname, is er ten slotte ook een neuropsychologische testbatterij afgenomen die met behulp van experts op het gebied van verkeerspsychologie en oogheelkunde samengesteld werd.

Hoofdstuk 3 gaat over de rijvaardigheid van mensen met visuele beperkingen op scootmobielen. Het experiment dat in dit hoofdstuk wordt beschreven had als doel om te bepalen of visueel beperkte mensen kunnen leren om een scootmobiel veilig te besturen en met welke onderdelen ze hierbij moeite hebben. Hiervoor werd een scootmobielparcours ontwikkeld gebaseerd op de scootmobielcursus "Blijf Veilig Mobiel" van Veilig Verkeer Nederland. Vaardigheden die zijn geoefend en beoordeeld, waren onder andere stoppen, het maken van een noodstop, achteruitrijden en door een smalle deuropening rijden. De prestatie van 48 mensen met een visuele beperking en 37 goedziende proefpersonen zonder eerdere

rijervaring in scootmobielen werd beoordeeld op een 3-punt-schaal. Bovendien werd genoteerd hoe vaak de deelnemers bepaalde onderdelen moesten herhalen om de betreffende vaardigheid goed genoeg te beheersen. Resultaten laten zien dat alle proefpersonen op één na in een training van ongeveer 30 minuten voldoende rijvaardigheid konden opdoen om de scootmobiel adequaat te besturen. Deelnemers met perifere gezichtsvelduitval (al dan niet gecombineerd met lage gezichtsscherpte) hadden de meeste problemen bij het leren van de verschillende vaardigheden. Vooral achteruitrijden en het tijdig stoppen van de scootmobiel bleken moeilijk voor deze deelnemers. Hierbij was echter niet zozeer de visuele beperking bepalend, maar eerder de juiste omgang met de bediening. Rijervaring in andere voertuigen dan scootmobielen en de mate van angst die mensen in het dagelijks leven ervaren waren geen van beide gerelateerd aan de prestatie op deze test. Deelnemers die minder goed presteerden op de scootmobielparcours rapporteerden echter na afloop meer angst te ervaren dan deelnemers met een betere prestatie.

In **Hoofdstuk 4** werd de rijgeschiktheid van visueel beperkte mensen in het echte verkeer onderzocht. In dit experiment legden 46 visueel beperkte en 35 goedziende deelnemers een praktische rijgeschiktheidstest in de scootmobiel af. De rijgeschiktheidstest vond zowel binnen als buiten plaats, waar de deelnemers verschillende realistische verkeerssituaties tegenkwamen (bijvoorbeeld het manoeuvreren tussen voetgangers en het oversteken van een straat). De rit werd opgenomen met een GPS-camera. Twee onafhankelijke ergotherapeuten die zijn gespecialiseerd in oriëntatie en mobiliteit bij mensen met een visuele beperking beoordeelden de video-opnames, zonder te weten of de deelnemer in kwestie slechtziend of goedziend was. De belangrijkste uitkomstmaten van dit experiment waren de algemene beoordeling van de rijprestatie en het aantal kritische momenten, waarbij de stopknop gebruikt moest worden als deelnemers in problematische situaties terecht dreigden te komen. Op basis van de beoordelingen van de ergotherapeuten slaagde ongeveer 90% van de visueel beperkte deelnemers voor de rijgeschiktheidstest. Over het algemeen werd de prestatie van visueel beperkte deelnemers slechter beoordeeld dan die van de goedziende controlegroep, maar desondanks presteerden ook de visueel beperkte deelnemers ruim voldoende om verantwoord aan het verkeer te kunnen deelnemen. Geen van goedziende deelnemers of deelnemers met een lage gezichtsscherpte zakten op de test. Deelnemers met een zeer lage gezichtsscherpte en/of een combinatie van visuele

beperkingen kwamen wel vaker in kritische situaties terecht.

Omdat testen die op de weg plaatsvinden moeilijk gestandaardiseerd kunnen worden, werden specifiek voor het project Mobility4All rijsimulatortaken ontwikkeld om de rijprestatie op een meer gecontroleerde manier te kunnen onderzoeken. In **Hoofdstuk 5** worden de resultaten van dit experiment gepresenteerd. In deze studie werd de deelnemers gevraagd om verschillende ritten in een rijsimulator af te leggen. Zowel in de scootmobiel- als ook in de brommobielsimulator hebben de deelnemers ritten met of zonder obstakels afgelegd. De ritten zonder obstakels waren bedoeld om snelheid en laterale positie op de weg te meten. De obstakelritten waren bedoeld om time-to-collision (de tijd waarbinnen het voertuig tegen een ander voertuig of obstakel botst als het in dezelfde richting en met dezelfde snelheid blijft rijden), minimale afstand ten opzichte van een obstakel op het moment van passeren en het aantal en type botsingen in kaart te brengen. De simulatorritten in de scootmobiel werden verder nog opgesplitst in ritten op de stoep en ritten op straat. Uit de resultaten komt naar voren dat slechtziende deelnemers niet verschilden van goedziende deelnemers met betrekking tot snelheid en laterale positie in zowel de brommobiel- als de scootmobielrijimulator. Het aantal botsingen was in bijna alle ritten hoger voor mensen met een visuele beperking dan voor de goedziende deelnemers. Vooral in de eerste obstakelrit van de brommobielrijimulator hadden slechtziende deelnemers meer botsingen ten opzichte van goedziende deelnemers. Dit verschil werd echter aanzienlijk kleiner in de tweede brommobielrit. Redenen hiervoor zouden een groot leervermogen en een betere vertrouwdheid met de taak kunnen zijn. Uitkomsten met betrekking tot time-to-collision verschilden per rit. Kleine obstakels met een laag contrast bleken het grootste risico op botsing te vormen voor slechtziende bestuurders.

In **Hoofdstuk 6** is vervolgens de samenhang tussen de rijgeschiktheidstest op de weg en de rijsimulatortaken onderzocht. Het aantal botsingen (combinatie van alle rijsimulatorritten) werd vergeleken met het aantal kritische momenten gedurende de rijgeschiktheidstest in de scootmobiel in het echte verkeer. Verder werd er gekeken naar de rijimulatorprestatie van de deelnemers die onvoldoende scoorden op de rijgeschiktheidstest. Prestatie op rijimulatorritten was matig gerelateerd aan de prestatie op de rijgeschiktheidstest, maar deelnemers die gezakt waren op de rijgeschiktheidstest hadden niet noodzakelijkerwijs ook een slechtere prestatie in de rijimulator. Vanwege de hoge uitval van deelnemers op de rijsimulatortaken door simulatorziekte moeten deze uitkomsten echter

voorzichtig worden geïnterpreteerd. Zolang er geen oplossing is die de kans op simulatorziekte reduceert, wordt door ons het gebruik van een rijnsimulator in de revalidatiepraktijk afgeraden.

Uit de voorafgaande hoofdstukken is duidelijk dat een visuele beperking op zichzelf de rijprestatie in langzaam gemotoriseerde voertuigen niet kan voorspellen. In **Hoofdstuk 7** werd de meerwaarde van neuropsychologisch onderzoek bij de beoordeling van rijgeschiktheid onderzocht. Hiervoor zijn de volgende testen afgenomen: Mini Mental Status Examination, Trail Making Test, Rey Complex Figure Test, Reactietijden test (Vienna Test System), Test voor het Bepalen van Vastberadenheid (Vienna Test System), Stippenteltaak en de Vlakveld Gevaarherkenningstaak. Resultaten laten zien dat alleen de Trail Making Test en de Stippenteltaak een matige correlatie vertonen met de rijprestatie van visueel beperkte deelnemers in de scootmobiel. Een groot deel van de mensen (4 van 5) die zakten voor de rijtest had een slechte prestatie op de Trail Making Test A, maar deelnemers met een slechte prestatie op de Trail Making Test zakten niet altijd voor de rijtest. Een lage prestatie op deze test betekent dus echter niet noodzakelijk dat iemand onveilig is in het verkeer. Dit geldt ook voor de Stippenteltaak. Beslissingen over verkeersveiligheid kunnen daarom niet alleen op basis van deze tests worden genomen. Ondanks het feit dat bij de keuze voor de tests zo veel mogelijk rekening was gehouden met eventuele visuele beperkingen blijken mensen met een visuele beperking op de meeste gebruikte neuropsychologische tests slechter te presteren dan goedziende mensen. Het is onwaarschijnlijk dat deze lagere prestatie het gevolg is van slechtere cognitieve vaardigheden. Deze bevinding laat dus zien dat er bij de afname van neuropsychologische testen rekening moet worden gehouden met eventuele visuele beperkingen om de validiteit van de testafname te waarborgen.

Het **achtste** en laatste **hoofdstuk** beschrijft de algemene conclusie en discussie. Geconcludeerd kan worden dat een visuele beperking op zichzelf niet bepaalt of iemand veilig en verantwoord aan het langzaam gemotoriseerde verkeer kan deelnemen. Het invoeren van visuele minimale eisen voor het gebruik van deze voertuigen wordt om die reden dan ook stellig afgeraden. Dit zou slechtziende mensen die prima kunnen compenseren voor hun visuele beperking onnodig beperken in hun zelfstandige mobiliteit. Binnen de revalidatie voor slechtziende mensen kan er echter een onderscheid gemaakt worden tussen de verschillende types van visuele beperkingen. In tegenstelling tot mensen met alleen een lage

gezichtsscherpte hebben mensen met een zeer lage gezichtsscherpte ($<0,16$; $<6/38$; $<20/125$), gezichtsvelduitval (met of zonder bijkomende lage gezichtsscherpte) en een lage contrastgevoeligheid meer aandacht nodig. Een individuele benadering bij het bepalen van rijgeschiktheid wordt daarbij geadviseerd. Verder worden in het hoofdstuk aanbevelingen gegeven voor de visuele revalidatie. Vaardigheden waar extra aandacht aan besteed moet worden, zijn tijdig stoppen (geldt voor alle deelnemers) en achteruitrijden (vooral voor mensen met visuele beperkingen). Hoewel de resultaten uiterst voorzichtig geïnterpreteerd moeten worden, zouden de Trail Making Test A en de Stippenteltoon bij slechtziende mensen een eerste indicatie kunnen geven voor de praktische rijprestatie. Lage scores op deze testen kan een aanwijzing zijn voor moeite in het dagelijks verkeer en vraagt dus verdere aandacht binnen revalidatie. Verder is extra aandacht nodig bij obstakels met een laag contrast. Deze bevinding is niet alleen belangrijk binnen de revalidatie, maar is ook waardevol bij het verkeerskundig ontwerpen van infrastructuur. Ten slotte wordt ingegaan op het belang van compensatie. Volgens het model van Michon kan zowel op het strategische niveau als op het tactische niveau compensatie plaatsvinden om problemen in het verkeer op het operationele niveau te voorkomen. Deze compensatiestrategieën kunnen vanuit de revalidatie instellingen aangeleerd worden om mensen, ondanks hun visuele beperking, veilig en verantwoord zelfstandig mobiel te houden.

Deutsche Zusammenfassung

Unabhängige Mobilität ist von großer Bedeutung für das allgemeine Wohlbefinden und die gesellschaftliche Teilnahme. Langsame, motorisierte Fahrzeuge (mit einer Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h, z. B. Elektromobile, Mopeds oder Leichtkraftfahrzeuge) können einen wesentlichen Beitrag zur Aufrechterhaltung dieser Unabhängigkeit für Menschen mit Einschränkungen leisten. Sehbehinderungen können jedoch unabhängige Mobilität wesentlich beeinträchtigen. Ziel dieser Doktorarbeit ist daher, zu untersuchen, inwieweit Menschen mit Sehbehinderung langsame, motorisierte Fahrzeuge sicher und verantwortungsvoll fahren können. Der Fokus liegt hierbei auf Elektromobilen und Leichtkraftfahrzeugen.

In **Kapitel 1** wird der Hintergrund der Doktorarbeit erläutert. Die Doktorarbeit ist das Ergebnis des Projekts Mobility4All, das von der Universität Groningen und Koninklijke Visio, einem Rehabilitationszentrum für sehbehinderte und blinde Menschen in den Niederlanden, entwickelt wurde (Finanzierung durch ZonMW, Projektnummer: 94309004). Im Gegensatz zum Autoverkehr gibt es keine Anforderungen an das Sehvermögen für Fahrer langsamer, motorisierter Fahrzeuge. Für Menschen mit Sehbehinderungen, die nach maximaler, unabhängiger Mobilität streben, ist das Fehlen dieser Anforderungen vorteilhaft, jedoch kann dies sich gleichzeitig nachteilig auf die Sicherheit im Straßenverkehr auswirken. Daher muss ein gutes Gleichgewicht zwischen individueller Unabhängigkeit einerseits und Sicherheit andererseits hergestellt werden. Auf wissenschaftlicher Ebene gibt es nur wenig Forschung zu den visuellen und kognitiven Faktoren, die das Fahren in langsamen, motorisierten Fahrzeugen beeinflussen könnten. Die wenigen Studien, die durchgeführt wurden, konzentrieren sich hauptsächlich auf Elektromobile oder elektrische Rollstühle und liefern keine einheitlichen Ergebnisse.

Kapitel 2 gibt einen Überblick über das Studiendesign. Insgesamt nahmen 105 Personen mit eingeschränkter Sehfähigkeit an den verschiedenen Experimenten des Projekts Mobility4All teil. Basierend auf einer Untersuchung der visuellen Funktionen wurden die Probanden in mehrere Gruppen eingeteilt: (1) Probanden mit sehr geringer Sehschärfe (Visus: 0,16-0,4), (2) Probanden mit geringer Sehschärfe (Visus > 0,16), (3) Probanden mit peripherem Gesichtsfeldausfall, (4) Probanden mit einer Kombination aus geringer Sehschärfe und Gesichtsfeldausfall, und (5) Kontrollprobanden ohne visuelle Beeinträchtigung. Die Verkehrssicherheit

wurde von verschiedenen Standpunkten aus betrachtet. In einem gängigen Elektromobil wurde die Fahrkompetenz und Fahrtauglichkeit getestet. Der Fahrkompetenztest bestand aus verschiedenen Elementen (z. B. Rückwärtsfahren oder Fahren durch eine enge Türöffnung), um den Gebrauch des Elektromobils zu üben und zudem zu bewerten. Der Fahrtauglichkeitstest wurde sowohl im Innen- als auch im Außenbereich durchgeführt, wobei die Teilnehmer verschiedene realistische Situationen (z. B. Bereiche mit vielen anderen Verkehrsteilnehmern, Überqueren einer Straße) meistern mussten. Um die Sicherheit der Probanden zu gewährleisten wurde zusätzlich ein Stoppmechanismus in das Elektromobil eingebaut, sodass das Fahrzeug mithilfe einer Fernbedienung auch aus der Ferne angehalten werden konnte. Weiterhin wurden ein Elektromobil- und ein Leichtkraftfahrzeugfahrersimulator entwickelt, um Verkehrssicherheit systematisch untersuchen zu können. Virtuelle Umgebungen wurden speziell für den Zweck dieses Projekts entworfen und umfassten Szenarien mit und ohne Hindernisse, die auf verschiedenen Straßenabschnitten und mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten zurückgelegt werden mussten. Die Hindernisse in den Hindernisfahrten wurden so entwickelt, dass sie für sehbehinderte Menschen problematisch sein könnten (z.B. Hindernisse mit geringem Kontrast, Hindernisse unterschiedlicher Größe, Position entweder im rechten oder im linken Gesichtsfeld). Da auch kognitive Faktoren eine sichere Verkehrsteilnahme beeinflussen können, wurde außerdem eine neuropsychologische Testbatterie zusammengestellt mit Hilfe von Experten auf dem Gebiet der Verkehrspsychologie und der Ophthalmologie.

Kapitel 3 beschreibt eine Studie zur Fahrkompetenz von Menschen mit Sehbehinderungen auf Elektromobilen. Ziel dieses Experiments war, zu bestimmen, ob sehbehinderte Menschen lernen können, wie man Elektromobile sicher bedient und mit welchen Fahrelementen diese Menschen Schwierigkeiten haben. Zu diesem Zweck wurde ein Elektromobilparcours entwickelt, der auf ein Elektromobiltraining der offiziellen Instanz „Veilig Verkeer Nederland [Sicherer Verkehr Niederlande]“ basiert war. Fähigkeiten, die geübt und bewertet wurden, waren zum Beispiel das Anhalten, Rückwärtsfahren oder Fahren durch eine enge Türöffnung. Die Leistung von 48 sehbehinderten Probanden und 37 Kontrollprobanden ohne Fahrpraxis in Elektromobilen wurde auf einer 3-Punkte-Skala bewertet. Darüber hinaus wurde festgestellt, wie oft die Teilnehmer bestimmte Elemente wiederholen mussten, um die entsprechende Fähigkeit gut genug zu beherrschen. Die Ergebnisse zeigen, dass alle Probanden genügend Fahrkompetenz erwerben konnten, um das

Elektromobil sicher fahren zu können. Teilnehmer mit peripherem Gesichtsfeldausfall (kombiniert mit geringer Sehschärfe) zeigten die meisten Probleme beim Lernen verschiedener Fähigkeiten. Vor allem das Rückwärtsfahren erwies sich für diese Teilnehmer als schwierig. Eine weitere Fähigkeit, die sich als problematisch erwies, war das rechtzeitige Anhalten. Visuelle Beeinträchtigungen hatten jedoch keinen primären Einfluss auf diese Fähigkeit, sondern eher die korrekte Handhabung der Hebelwippe (Gas und Bremse). Fahrerfahrungen und allgemeines Angstempfinden hatten keinen Einfluss auf die Testergebnisse. Das gegenwärtige Angstempfinden nach Abschluss der Testfahrt im Elektromobil war jedoch größer bei Probanden, die eine schlechtere Leistung zeigten.

In **Kapitel 4** wurde die Fahrtauglichkeit sehbehinderter Menschen untersucht. In diesem Experiment absolvierten 46 sehbehinderte Probanden und 35 Kontrollprobanden einen praktischen Fahreignungstest im Elektromobil, wobei die Fahrt mit einer Kamera aufgenommen wurde. Zwei unabhängige Ergotherapeuten, die im Fachbereich der Orientierung und Mobilität spezialisiert waren, haben diese Videos bewertet. Die wichtigsten Kriterien dieses Experiments waren die allgemeine Einschätzung der Fahrleistung und die Anzahl kritischer Momente, in denen das Elektromobil vom Testleiter angehalten werden musste oder in denen die Probanden in problematische Situationen gerieten. Basierend auf den Bewertungen der Ergotherapeuten bestanden rund 90% der sehbehinderten Probanden den Fahreignungstests. Im Allgemeinen wurde die Leistung der sehbehinderten Probanden schlechter beurteilt als die der Kontrollprobanden. Jedoch erwies sich die Fahrleistung der sehbehinderten Probanden als sicher genug um am Straßenverkehr teilzunehmen. Keiner der Kontrollprobanden oder Probanden mit geringer Sehschärfe wurden als zu unsicher bewertet. Probanden mit sehr geringer Sehschärfe und Probanden mit mehreren Sehbehinderungen gerieten häufiger in problematische Situationen.

Da die Standardisierung von Fahreignungstests im echten Straßenverkehr schwer zu realisieren ist, wurden Fahrsimulatoren für das Projekt Mobility4All entwickelt, um die Fahrleistung in einem besser zu kontrollierenden Umfeld untersuchen zu können. In **Kapitel 5** werden die Ergebnisse dieses Experiments beschrieben. In dieser Studie absolvierten die Probanden mehrere Fahrten in den neu entwickelten Elektromobil- und Leichtkraftfahrzeugfahrsimulatoren. Um die Fahrleistung zu ermitteln, wurden verschiedene Parameter (Geschwindigkeit, Standardabweichung der lateralen Position, Kollisionszeit, Distanz und Anzahl und Art der Kollisionen) zwischen

sehbehinderten Probanden und Kontrollprobanden verglichen. Die Ergebnisse zeigten, dass keine Unterschiede zwischen den sehbehinderten Probanden und den Kontrollprobanden hinsichtlich der Geschwindigkeit und der lateralen Position im Elektromobil- und Leichtkraftfahrzeugfahrsimulator festgestellt werden konnten. Die Anzahl der Kollisionen war jedoch bei sehbehinderten Probanden bei fast allen Fahrten höher als die der Kontrollprobanden. Vor allem in der ersten Hindernisfahrt des Leichtkraftfahrzeugfahrsimulators verursachten sehbehinderte Probanden mehr Kollisionen als Kontrollprobanden. Dieser Unterschied wurde jedoch in der zweiten Fahrsimulatorfahrt deutlich kleiner. Gründe für diese Verbesserung könnten eine gute Lernfähigkeit oder eine bessere Vertrautheit mit der Aufgabe sein. Die Ergebnisse bezüglich der Kollisionszeit unterschieden sich pro Fahrt. Kleine Hindernisse mit geringem Kontrast schienen bei sehbehinderten Probanden die größte Kollisionsgefahr darzustellen.

In **Kapitel 6** wurde der Zusammenhang zwischen dem praktischen Fahreignungstest und den Fahrten in den Fahrsimulatoren untersucht. Die Anzahl der Kollisionen (Kombination aller Fahrsimulatorfahrten) wurde mit der Anzahl der kritischen Momente während des praktischen Fahreignungstests im Elektromobil verglichen. Darüber hinaus wurde die Fahrsimulatorleistung der Probanden begutachtet, die den praktischen Fahreignungstest nicht bestanden hatten. Die Leistung in den Fahrsimulatoren war mäßig mit der Leistung im Fahreignungstest verbunden. Probanden, die den Fahreignungstest nicht bestanden hatten, zeigten im Fahrsimulator jedoch nicht unbedingt eine schlechtere Leistung. Da viele Probanden die Fahrsimulatorfahrten aufgrund von Simulatorkrankheit (z.B. Schwindelgefühl oder Übelkeit) vorzeitig abbrechen mussten, müssen diese Ergebnisse jedoch mit Vorsicht interpretiert werden. Solange keine Lösung gefunden werden kann, um Simulatorkrankheit zu reduzieren, wird die Verwendung der Fahrsimulatoren in der klinischen Praxis nicht empfohlen.

Aus den vorangegangenen Kapiteln wird deutlich, dass eine visuelle Beeinträchtigung die Fahrleistung in langsamen, motorisierten Fahrzeugen allein nicht vorhersagen kann. In **Kapitel 7** wird der Mehrwert von (neuropsychologischen) Tests bei der Beurteilung der Fahrtauglichkeit untersucht. Die folgenden Tests wurden in dieser Studie absolviert: Mini-Mental-Status-Test, Trail Making Test, Komplexe Figur von Rey, Reaktionstest (Wiener Testsystem), Determinationstest (Wiener Testsystem), Punkte-Zähl-Test und Vlakveld Gefahrenerkennungstest. Die Ergebnisse zeigen, dass nur der Trail Making Test und der Punkte-Zähl-Test eine moderate Korrelation

mit der Fahrleistung von sehbehinderten Probanden aufwiesen. Probanden, die den praktischen Fahreignungstest im Elektromobil nicht bestanden (4 aus 5 Probanden), zeigten eine unterdurchschnittliche Leistung im Trail Making Test A. Umgekehrt bedeutete allerdings eine unterdurchschnittliche Leistung in diesem Test nicht unbedingt, dass Probanden durch den praktischen Fahreignungstest durchgefielen. Vor allem Teil A des Trail Making Tests erwies sich als Hinweis darauf, ob Probanden den Fahreignungstest bestehen oder nicht. Eine schlechte Leistung bei diesem Test ist daher nicht notwendigerweise ein Indikator dafür, dass jemand im Verkehr unsicher ist. Gleiches gilt für den Punkte-Zähl-Test. Entscheidungen über die Fahreignung sollten daher nicht allein auf der Grundlage dieser Tests getroffen werden. Ein weiteres Ergebnis war, dass sehbehinderte Probanden in den meisten Tests schlechter abschnitten als die Kontrollprobanden, obwohl visuelle Fähigkeiten der Probanden als wichtiges Kriterium bei der Selektion der neuropsychologischen Tests berücksichtigt wurde. Es ist unwahrscheinlich, dass diese schlechtere Leistung jedoch das Ergebnis schlechterer kognitiver Fähigkeiten ist.

Im letzten Kapitel, **Kapitel 8**, wird eine allgemeine Diskussion und Schlussfolgerung in Bezug auf alle vorangehenden Kapitel gegeben. Generell lässt sich schlussfolgern, dass eine Sehbehinderung nicht maßgeblich dafür verantwortlich ist, ob jemand sicher und verantwortungsvoll am Verkehr in langsamen, motorisierten Fahrzeugen teilnehmen kann. Die Einführung von legalen Anforderungen an das Sehvermögen für Fahrer dieser Fahrzeuge wird daher nicht empfohlen. In Bezug auf die Förderung von unabhängiger Mobilität in dieser Bevölkerungsgruppe kann zwischen den verschiedenen Arten der Sehbehinderung unterschieden werden. Im Gegensatz zu Menschen mit geringer Sehschärfe benötigen Menschen mit sehr geringer Sehschärfe und Gesichtsfeldausfall (mit oder ohne zusätzlicher Sehschwäche) mehr Aufmerksamkeit. Ein individueller Ansatz zur Bestimmung der Fahrtüchtigkeit wird daher empfohlen. Außerdem wird diskutiert, welche Schritte unternommen werden können, um die Fahrleistung sehbehinderter Menschen zu verbessern. Fähigkeiten, die besondere Aufmerksamkeit erfordern, sind das rechtzeitige Anhalten (gilt für alle Teilnehmer) und das Rückwärtsfahren (insbesondere für Menschen mit Sehbehinderung). Obwohl die Ergebnisse vorsichtig interpretiert werden müssen, könnten der Trail-Making-Test A und der Punkte-Zähl-Test Hinweise auf die Fahrleistung sehbehinderter Menschen geben. Eine geringe Leistung bei diesen Tests kann ein Indikator für Schwierigkeiten im Verkehr sein und erfordert weitere

Aufmerksamkeit im Rahmen der Rehabilitation. Darüber hinaus ist besondere Aufmerksamkeit für Hindernisse mit geringem Kontrast erforderlich. Dieser Befund ist nicht nur in der Rehabilitation wichtig, sondern kann auch für die zukünftige Gestaltung der Infrastruktur wertvoll sein. Abschließend wird auf die Wichtigkeit der Kompensation eingegangen. Nach Michons Modell kann Kompensation auf strategischer und taktischer Ebene stattfinden (wie etwa die Fahrroute im Voraus planen oder die Geschwindigkeit anpassen), um schwierige Situationen im Verkehr zu vermeiden. Diese Strategien können leicht angelernt werden, sodass Menschen trotz ihrer Sehbehinderung dabei unterstützt werden können, ihre unabhängige Mobilität aufrechtzuerhalten.

